

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-251684

(43) 公開日 平成11年(1999) 9月17日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

// H 0 1 L 21/205

21/205

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平10-45665

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月26日

(72) 発明者 長濱 慎一

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72) 発明者 中村 修二

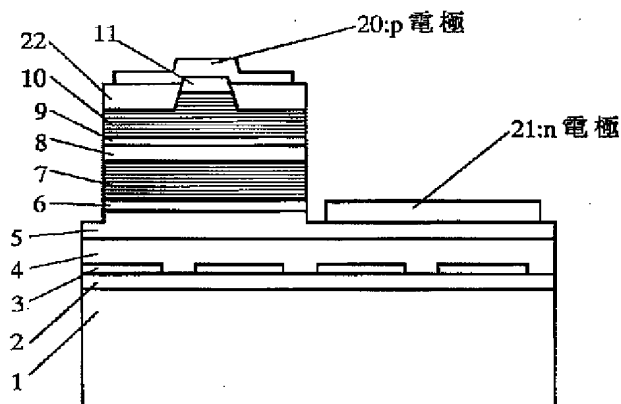
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子

(57) 【要約】

【目的】 発振閾値を低下させて、高出力でも長寿命なレーザ素子を実現する。

【構成】 n型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層との間に活性層を有する窒化物半導体素子において、前記n型およびp型窒化物半導体層の内の少なくとも一方に、Alを含む第1の窒化物半導体層と、第1の窒化物半導体層と組成の異なる第2の窒化物半導体層とが積層された超格子層が設けられ、前記第1の窒化物半導体層は活性層に接近するにつれて、Alの組成が少なくなるようにされており、さらに、その超格子層に含まれる導電型を決定する不純物が、活性層に接近するにつれて、少なくなるように調整されている。超格子よりなるGRIN構造とすることにより光が活性層に集中するようになるため、閾値が下がる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 n型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層との間に活性層を有する窒化物半導体素子において、前記n型およびp型窒化物半導体層の内の少なくとも一方に、Alを含む第1の窒化物半導体層と、第1の窒化物半導体層と組成の異なる第2の窒化物半導体層とが積層された超格子層が設けられ、前記第1の窒化物半導体層は活性層に接近するにつれて、Alの含有量が少なくなるようにされていることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 n型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層との間に活性層を有する窒化物半導体素子において、前記n型およびp型窒化物半導体層の内の少なくとも一方に、Alを含む第1の窒化物半導体層と、第1の窒化物半導体層と組成の異なる第2の窒化物半導体層とが積層された超格子層が設けられ、その超格子層に含まれる導電型を決定する不純物が、活性層に接近するにつれて、少なくなるように調整されていることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項3】 n型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層との間に活性層を有する窒化物半導体素子において、前記n型およびp型窒化物半導体層の内の少なくとも一方に、Alを含む第1の窒化物半導体層と、第1の窒化物半導体層と組成の異なる第2の窒化物半導体層とが積層された超格子層が設けられ、前記第1の窒化物半導体層は活性層に接近するにつれて、Alの組成が少なくなるようにされており、さらに、その超格子層に含まれる導電型を決定する不純物が、活性層に接近するにつれて、少なくなるように調整されていることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項4】 前記超格子層はn型窒化物半導体層、およびp型窒化物半導体層両方に設けられており、n側の第1の窒化物半導体層には、p側の第1の窒化物半導体層よりもAl混晶比の大きい窒化物半導体層を有することを特徴とする請求項1乃至3の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項5】 前記超格子層はn型窒化物半導体層、およびp型窒化物半導体層両方に設けられており、n側にある超格子層全体の膜厚よりも、p側にある超格子層全体の膜厚が薄いことを特徴とする請求項1乃至4の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項6】 前記超格子層には導電型を決定する不純物が含まれ、その不純物が、前記第1の窒化物半導体層、または前記第2の窒化物半導体層の内のいずれか一方に含まれることを特徴とする請求項1乃至5の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項7】 前記超格子層の活性層に接近した側にある膜厚0.3 μ m以下の層は、不純物がドーピングされていないアンドープ層であることを特徴とする請求項1乃至6の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項8】 前記超格子層が活性層に接して形成されていることを特徴とする請求項1乃至7の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項9】 前記第1の窒化物半導体層が $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 1$) よりなり、前記第2の窒化物半導体層がGaNよりなることを特徴とする請求項1乃至8の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明はLED（発光ダイオード）、SLD（スーパーluminescentダイオード）、LD（レーザダイオード）等の発光素子、太陽電池、光センサー等の受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイスに使用される窒化物半導体（ $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$, $0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$ ）素子に関する。

【0002】

【従来の技術】我々は窒化物半導体基板の上に、活性層を含む窒化物半導体レーザ素子を作製して、世界で初めて室温での連続発振1万時間以上を達成したことを発表した（ICNS'97 予稿集, October 27-31, 1997, P444-446、及びJpn. J. Appl. Phys. Vol. 36(1997) pp. L1568-1571, Part 2, No. 12A, 1 December 1997）。基本的な構造としてはサファイア基板上に、部分的に形成されたSiO₂膜を介して選択成長されたn-GaNよりなる窒化物半導体基板の上に、レーザ素子構造となる窒化物半導体層が複数積層されてなる。（詳細はJpn. J. Appl. Phys. Vol. 36参照）

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、1万時間以上の連続発振が推定されたのは、出力で2mWである。2mWでは読み取り用光源としては若干もの足りず、書き込み用光源ではこの10倍以上の出力が必要であり、さらなるレーザ素子の出力向上と長寿命化が望まれている。

【0004】レーザ素子の発振閾値が低下すれば、レーザ素子の発熱量が小さくなるので、電流値を多くして出力を上げることができる。さらに、閾値が低下することとは、レーザ素子だけでなくLED、SLD等、他の窒化物半導体素子にも適用でき、高効率で信頼性の高い素子を提供できる。従って本発明の目的とするところは、主としてレーザ素子の出力を向上させて、長寿命とするため、まず発振閾値を低下させることにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の窒化物半導体素子の態様は主として3つの態様からなり、その第1の態様は、n型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層との間に活性層を有する窒化物半導体素子において、前記n型およびp型窒化物半導体層の内の少なくとも一方に、Alを含む第1の窒化物半導体層と、第1の窒化物半導体

層と組成の異なる第2の窒化物半導体層とが積層された超格子層が設けられ、前記第1の窒化物半導体層は活性層に接近するにつれて、Alの含有量が少なくなるようにされていることを特徴とする。

【0006】第2の態様は、同様の構造の窒化物半導体素子において、n型およびp型窒化物半導体層の内の少なくとも一方に、Alを含む第1の窒化物半導体層と、第1の窒化物半導体層と組成の異なる第2の窒化物半導体層とが積層された超格子層が設けられ、その超格子層に含まれる導電型を決定する不純物が、活性層に接近するにつれて、少なくなるように調整されていることを特徴とする。

【0007】第3の態様は、最も好ましい状態であって、第1の態様と第2の態様とを組み合わせたものであり、同様の構造の発光素子において、前記n型およびp型窒化物半導体層の内の少なくとも一方に、Alを含む第1の窒化物半導体層と、第1の窒化物半導体層と組成の異なる第2の窒化物半導体層とが積層された超格子層が設けられ、前記第1の窒化物半導体層は活性層に接近するにつれて、Alの組成が少なくなるようにされており、さらに、その超格子層に含まれる導電型を決定する不純物が、活性層に接近するにつれて、少なくなるように調整されていることを特徴とする。

【0008】本発明の全ての態様において、前記超格子層はn型窒化物半導体層、およびp型窒化物半導体層両方に設けられており、n側の第1の窒化物半導体層には、p側の第1の窒化物半導体層よりもAl混晶比の大きい窒化物半導体層を有することを特徴とする。

【0009】さらに、全ての前記超格子層はn型窒化物半導体層、およびp型窒化物半導体層両方に設けられており、n側にある超格子層全体の膜厚よりも、p側にある超格子層全体の膜厚が薄いことを特徴とする。

【0010】全て前記超格子層には導電型を決定する不純物が含まれており、その不純物が第1の窒化物半導体層、または第2の窒化物半導体層の内のいずれか一方に含まれることを特徴とする。導電型を決定する不純物とは、例えばn型窒化物半導体であれば、Si、Se、O、Sn、S等のIV族元素であり、p型窒化物半導体であれば、Mg、Zn、Cd、Be、Ca等のII族元素を指す。(以下、n型窒化物半導体に含まれる不純物をドナー、p型窒化物半導体に含まれる不純物をアクセプターという。)

【0011】前記超格子層の活性層に接近した側にある膜厚0.3 μ m以下の層は、不純物がドーピングされていないアンドープ層であることを特徴とする。この超格子層におけるアンドープの領域の膜厚は好ましくは0.2 μ m以下、さらに好ましくは0.1 μ m以下に調整する。下限は特に限定しないが、第1の窒化物半導体層若しくは第2の窒化物半導体層分の膜厚以上とすることが望ましい。このアンドープの超格子からなる領域は、n、p

窒化物半導体層の少なくとも一方にあればよいが、好ましくは活性層を挟んで両方に形成する。なお、本請求項において、アンドープとは、意図的に不純物をドーピングしていない窒化物半導体を指し、例えば隣接する窒化物半導体から不純物が拡散して入ってくるものも、本発明ではアンドープと定義する。この場合、アンドープの窒化物半導体層の不純物濃度は、不純物が含まれる窒化物半導体層と接している側から徐々に少なくなっているような、勾配がついている場合が多い。

【0012】また前記超格子層が活性層に接して形成されていることを特徴とする。このように超格子層の少なくとも一方を活性層に接して形成すると、例えばレーザ素子を作製した場合には、この超格子層が活性層の導波路となる光ガイド層と、光閉じ込め層であるクラッド層とを兼ねることができる。

【0013】さらにまた、前記第1の窒化物半導体層が $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 1$) よりなり、前記第2の窒化物半導体層がGaNよりなることを特徴とする。AlGaNとGaNとの組み合わせにすると、Al組成比を次第に変えていく際に、一方のみのガス流量のみを調整するよいので、生産技術上非常に都合がよい。またAlGaNに比べて結晶性の良いGaN層がバッファ層となるので、その上に成長するAlGaN層の結晶性も良くなる傾向にあり、全体として結晶性の良い超格子層を形成できる。

【0014】

【発明の実施の形態】図1は本発明の窒化物半導体素子の具体的な構造を示す模式断面図であり、具体的にはレーザ素子の構造を示しており、8が活性層、7が超格子層よりなるn側クラッド層、10が超格子層よりなるp側クラッド層である。レーザ素子の場合、これら超格子層7、10はn、p両側の窒化物半導体層に存在させることが望ましいが、例えばLED、受光素子のような簡単な構造の窒化物半導体素子では、必ずしも両側にある必要はなく、いずれか一方の導電型の窒化物半導体層の中に存在させればよい。

【0015】超格子を構成する第1の窒化物半導体層は、Alを含む窒化物半導体、好ましくは三元混晶の $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 1$) とすると結晶性の良いものが得られやすい。また第2の窒化物半導体層は、第1の窒化物半導体と組成が異なればどのようなものでもよいが、好ましくは第1の窒化物半導体よりもバンドギャップエネルギーが小さい窒化物半導体として、 $In_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 1$) を選択する。その中でもGaNとすると最も結晶性が良くなる。即ち、超格子層はAlGaNとGaNとで構成すると、結晶性の良いGaNがバッファ層のような作用をして、AlGaNを結晶性良く成長できる。また単一膜厚が100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは50オングストローム以下の窒化物半導体層

を成長、積層させることにより、窒化物半導体が弾性臨界膜厚以下となるために、AlGaInのような結晶中にクラックの入りやすい結晶でも、クラックが入ることなく膜質良く成長できる。

【0016】本発明の第1の態様では、超格子層よりなるn側クラッド層7、p側クラッド層の第1の窒化物半導体層のAl組成を活性層に接近するに従って小さくなるように調整している。このようにn、p両クラッド層を超格子としてGRIN (gradient index waveguide) 構造とすると、活性層の発光はAl組成の少ない領域で導波されて、縦モードが単一モードになりやすくなって閾値が低下する。図2に、図1のn型クラッド層7からp側クラッド層10までのエネルギーバンド図を示す。図2のようにn側クラッド層7、およびp側クラッド層10から活性層7に至るまでに、第1の窒化物半導体のAl組成を小さくすることにより、連続的にバンドギャップエネルギーを小さくして、GRIN構造を作製することにより、閾値が低下する傾向にある。なお活性層は多重量子井戸構造である場合を示している。

【0017】一般にダブルヘテロ構造のクラッド層は、活性層よりもバンドギャップエネルギーを大きくする必要があるため、窒化物半導体素子のクラッド層には、例えばAlGaInのような、Alを含有する窒化物半導体を用いられる。AlGaInの場合、活性層との屈折率差、およびバンドギャップエネルギー差を設けるために、Al混晶比を多くすればよいのは理論的に解っているものであるが、 $Al_xGa_{1-x}N$ はx値が大きくなるに従って、結晶中にクラックが入りやすくなる傾向にある。そのため、クラッド層にAl混晶比の大きいAlGaInを成長させることは難しい。例えば、たとえ超格子といえども、Al混晶比xが例えば0.5以上の $Al_xGa_{1-x}N$ を、光閉じ込めのためのクラッド層として必要とする膜厚まで成長させることは難しい傾向にある。ところが、本発明のように、GRIN構造とすると、Al混晶比の大きい層は最外層、つまり活性層から最も離れた層だけで良く、活性層に接近するに従って、Al混晶比が小さくなっているため、最外層にAl混晶比の大きい層を形成しやすくなる。そのため、クラッド層と活性層との屈折率差を大きくできるので、光閉じ込め効果が大きくなって、閾値が低下する。また屈折率が中心(活性層)から外側に向かって徐々に小さくなっているGRIN構造では、光が中心に集まりやすくなるため閾値が低下する。

【0018】また本発明の第2の態様では、超格子層よりなるn側クラッド層7、p側クラッド層に含まれるドナー、アクセプター濃度が活性層に接近するに従って、少なくなるように調整されている。n側クラッド層のドナーとしては、Si、Ge、Sn、S、Oが用いられ、一般的にはSi、Snが用いられる。p型クラッド層のアクセプターとしてはMg、Zn、Be、Caが用

いられ、一般的にはMgが用いられる。このようにn、pクラッド層を超格子として、その超格子に含まれるドナー、アクセプター濃度を次第に小さくすると、クラッド層による活性層近傍の光吸収が少なくなるので、光損失が低下して閾値が低下する。さらに不純物濃度の少ない窒化物半導体、不純物濃度の大きい窒化物半導体に比較して結晶性がよい。そのため不純物濃度の少ない結晶性の良いn、p両クラッド層で活性層を挟んだ構造とすると、結晶欠陥の少ない活性層が成長できるために、素子の寿命も長くなり、信頼性が向上すると共に、素子の耐圧も高くなる。

【0019】不純物はAlを含む第1の窒化物半導体層、第2の窒化物半導体層に両方ドーピングしても良いが、好ましくはいずれか一方にドーピングすることが望ましい。これは変調ドーピングと呼ばれるもので、超格子層のいずれか一方の層に不純物をドーピングすることにより、超格子層全体の結晶性が良くなり、これも信頼性の高い素子を実現するのに効果的である。つまり、不純物をドーピングしない結晶性の良い層の上に不純物をドーピングした層を成長させると、不純物をドーピングした層の結晶性が向上するため、超格子層全体としての結晶性が良くなることによる。

【0020】不純物濃度としてはドナーの場合、n側クラッド層の最外層で $1 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲に調整する。また活性層近傍、例えば超格子層の低不純物濃度領域 $0.3 \mu\text{m}$ 以下では、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下、さらに好ましくは $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下に調整する。なおドナーとしてSiを用いた場合、GaInマトリックスで現在のSIMSによる検出限界はおおよそ $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 程度である。一方、アクセプターの場合、p側クラッド層の第2の態様の場合、最外層で $1 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ の範囲に調整する。また活性層近傍、例えば超格子層の低不純物濃度領域 $0.3 \mu\text{m}$ 以下では、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下、さらに好ましくは $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下に調整する。第2の態様の場合、最外層の不純物濃度よりもむしろ、低不純物濃度層の方が重要であり、活性層に接近した側の不純物濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ よりも多いと、光吸収が多くなり、閾値が低下しにくくなる傾向にある。また、不純物濃度を多くしたことによる結晶性の低下により、寿命が短くなる傾向にある。最も好ましくは不純物を意図的にドーピングしない状態、即ちアンドープとする。なおアクセプターとしてMgを用いた場合、GaInマトリックスで現在のSIMSによる検出限界はおおよそ $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 程度である。

【0021】第3の態様は、本発明の最も好ましい態様を示し、第1の態様と、第2の態様とを結合させたものであり、超格子層の作用は同じであるので省略する。

【0022】本発明の素子の大きな特徴として、全ての

態様において、前記超格子層をn型窒化物半導体層、およびp型窒化物半導体層両方に設けた場合、n側の第1の窒化物半導体層には、p側の第1の窒化物半導体層よりもA1混晶比の大きい窒化物半導体層を有していることが望ましい。好ましくは活性層から最も離れた側にあるA1を含む第1の窒化物半導体層のA1混晶比を、p側よりもn側の方を大きくする。これは光閉じ込めに関係する。窒化物半導体の場合、n側には窒化物半導体基板、n側コンタクト層等の、クラッド層よりも屈折率が大きい透明な材料がクラッド層の外側に存在する。これらの材料はクラッド層から光が漏れるとその内部で光が導波して、レーザ素子ではレーザ光のFFPの形状を乱す。また横モードがマルチとなって閾値を上昇させる原因ともなる。そのため、n側の方に光が漏れないようにするために、A1混晶比の大きい第1の窒化物半導体層を含む超格子をn側の方に存在させるのである。一方、p側の方はFFPの形状を乱すようなものがp側クラッド層の外側にはほとんどないか、あったとしても膜厚が非常に薄いので導波しにくい。そのためp側にはA1混晶比の大きい第1の窒化物半導体層を、n側のように設けなくてもよい。またA1混晶比の大きい窒化物半導体層は少ないものに比較して抵抗率が高いため、p層側に存在させると、Vfが上昇しやすい傾向にある。

【0023】さらに、本発明の次なる特徴として、全ての態様において、前記超格子層をn型窒化物半導体層、およびp型窒化物半導体層両方に設けた場合、n側にある超格子層全体の膜厚よりも、p側にある超格子層全体の膜厚を薄くすることが望ましい。これは、n、pの窒化物半導体の抵抗率による。窒化物半導体を超格子とした場合、n型よりもp型の方が抵抗率が高い傾向にある。しかもA1を含む窒化物半導体はA1を含まないものよりも抵抗率が大きい。p層側を厚くするとVfが高くなって、素子の発熱量が大きくなる傾向にある。そのため、本発明のようにn層側よりも、p層側を薄くすることにより、Vfの上昇を抑えた信頼性の高い素子を作製することができる。具体的な膜厚として、n側を100オングストローム以上、5 μ m以下、p層側は50オングストローム以上、2 μ m以下にすることが望ましい。

【0024】本発明の素子においてn側、p側にある超格子層には、少なくとも導電型を決定する不純物が含まれているが、前記のように不純物を変調ドーピングすると超格子層の結晶性が良くなり閾値が低下する。このような変調ドーピングの手法は、本発明の第2、第3の態様だけではなく、第1の態様に適用することもできる。ただし第1の態様において、不純物の濃度を必ずしも活性層に接近するに従って、小さくなるようにする必要はない。

【0025】本発明の全ての態様において、超格子層の活性層に接近した側にある膜厚0.3 μ m以下の領域は、不純物がドーピングされていないアンドープ層であるこ

とが望ましいことは先に述べたが、さらに好ましくは0.2 μ m以下、最も好ましくは0.1 μ m以下とする。0.3 μ mよりもアンドープの領域が多いと、アンドープ領域の抵抗率が大きくなるので、閾値が上昇して素子が発熱しやすい傾向にある。特にその傾向はp層側に強く、p層側のアンドープ領域はn層側よりも薄くすることが望ましい。但し、Mgのようなアクセプターはドナーよりも拡散しやすい傾向にあり、p層側のアンドープ層は、外側のMgをドーピングした層からMgが拡散されて完全なアンドープとなっておらず、p-の状態となっていることが多い。

【0026】次に、超格子層よりなるn側クラッド層7、p側クラッド層10は活性層8に接して形成すると、クラッド層の活性層に接近した領域が、光ガイド層となって導波路領域を形成し、閾値が低下することは前にも述べたが、クラッド層と活性層との間に、他の窒化物半導体よりなる層を形成することもできる。例えばn側、p側クラッド層の活性層の最も接近した側にある窒化物半導体層と同一組成で、活性層の光ガイド層となる層を形成することもできる。また光ガイド層を本発明の第1の態様、第2の態様および第3の態様とすることもできる。

【0027】さらに、活性層は少なくとも一つの井戸層を有する量子井戸構造よりなる場合、図2のバンド図に示すように、p側の超格子層とその活性層との間に、井戸層よりもバンドギャップエネルギーが大きくA1を含む窒化物半導体よりなるキャップ層を0.1 μ m以下の膜厚で形成すると、レーザ素子、LED素子のような発光素子ではさらに高出力となる。好ましい膜厚としては800オングストローム以下、さらに好ましくは500オングストローム以下にする。0.1 μ mよりも厚いとキャリアがこのエネルギーバリアのあるキャップ層をトンネル効果により通過できなくなり、出力の向上が少ない。なおこのキャップ層は活性層に接してn側にも設けることができる。

【0028】

【実施例】

【実施例1】（第3の態様）

図1は本発明の一実施例に係るレーザ素子の形状を示す模式的な断面図でありリッジストライプに垂直な方向で切断した際の図を示すものである。以下、この図を元に本発明の素子を説明する。

【0029】（下地層）サファイアよりなる異種基板1の上に、MOVPE法を用いて500℃前後の低温でGaNよりなるバッファ層（図示せず）を200オングストロームの膜厚で成長させ、そのバッファ層の上に900℃以上で、アンドープGaNよりなる下地層2を4 μ mの膜厚で成長させる。この下地層は保護膜を部分的に表面に形成して、次に窒化物半導体基板の選択成長を行うための下地層として作用する。そのため次の層を結晶

性良く成長させるためアンドープとすることが最も好ましい。下地層の膜厚はバッファ層よりも厚い膜厚で成長させて、 $10\mu\text{m}$ 以下の膜厚に調整することが望ましい。基板はサファイアその他、 SiC 、 ZnO 、スピネル、 GaAs 等、窒化物半導体を成長させるために知られている、窒化物半導体と異なる材料よりなる基板を用いることができる。なおこの下地層は結晶欠陥が例えば 10^9 個/ cm^2 以上と多く、窒化物半導体基板とはならない。

【0030】(保護膜3) 下地層成長後、下地層2の表面に、ストライプ状のフォトマスクを形成し、CVD装置によりストライプ幅 $10\mu\text{m}$ 、ストライプ間隔(窓部) $2\mu\text{m}$ の SiO_2 よりなる保護膜3を $1\mu\text{m}$ の膜厚で形成する。保護膜の形状としてはストライプ状、ドット状、基盤目状などのような形状でも良いが、窓部よりも保護膜の面積を大きくする方が、次に成長させる結晶欠陥の少ない窒化物半導体基板が得られる。保護膜の材料としては、例えば酸化ケイ素(SiO_x)、窒化ケイ素(Si_xN_y)、酸化チタン(TiO_x)、酸化ジルコニウム(ZrO_x)等の酸化物、窒化物、またこれらの多層膜その他、 1200°C 以上の融点を有する金属等を用いることができる。

【0031】(窒化物半導体基板4) 保護膜3形成後、MOVPE法を用い、アンドープGaNよりなる窒化物半導体基板4を $10\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。成長後の窒化物半導体基板4は、表面に現れる結晶欠陥が下地層2よりも少なく、例えば 10^7 個/ cm^2 以下しかなく、結晶性の良い窒化物半導体を成長させるのに十分な窒化物半導体基板として使用できる。

【0032】(n側コンタクト層5) 次に、窒化物半導体基板4の上に、Siを $1\times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるn側コンタクト層5を $4\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

【0033】(クラック防止層6) 次に、Siを $5\times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ よりなるクラック防止層6を $0.15\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。なお、このクラック防止層は省略可能である。

【0034】(n側クラッド層7=超格子層) 次に1回目にSiを $5\times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたGaN層を25オングストローム成長させ、続いてアンドープ $\text{Al}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そして2回目に、Si含有ガスの量を若干少なくしてGaN層を25オングストローム成長させ、続いてAl含有ガスの量を若干少なくして、アンドープで、およそ $\text{Al}_{0.29}\text{Ga}_{0.71}\text{N}$ 層を25オングストロームの膜厚で成長させる。なお、 $\text{Al}_{0.29}\text{Ga}_{0.71}\text{N}$ の混晶比は正確な値ではない。3回目以降は、GaN層の先に成長させたGaNよりもSiガス量をさらに少なくして、SiドープGaN層を成長させて、続いて先に成長させたAlGaNよりもAl含有量がさらに少ないアンドープA

lGaN層を成長させる。このようにして、Siの含有量が活性層に接近するに従って、徐々に少なくなっていくSiドープGaN層と、アンドープ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層とを合わせて $1.2\mu\text{m}$ (240ベア)成長させた後、Si含有ガスを止め、アンドープGaN層を25オングストローム、先に成長させたAlGaNよりもさらにAl含有量が少ないアンドープAlGaNを25オングストローム成長させる。そしてAlGaNの組成のみを変化させながら、 $0.1\mu\text{m}$ (20ベア)の膜厚で最後がアンドープGaNと、アンドープGaNとになるように成長させることにより、Al含有量が次第に少なくなっていくAlGaNと、Si含有量が次第に少なくなっていくGaNとからなる超格子構造のn側クラッド層7を $1.3\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

【0035】(活性層8) 次にアンドープ $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ よりなる障壁層を100オングストロームの膜厚で成長させ、続いてアンドープ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。障壁+井戸+障壁+井戸+障壁の順で、総膜厚360オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層8を成長させる。活性層は本実施例のようにアンドープでもよいし、またドナー及び/又はアクセプターをドープしても良い。ドナー、アクセプターは井戸層、障壁層両方にドープしても良く、いずれか一方にドープしてもよい。

【0036】(p側キャップ層9) 次に、Mgを $1\times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなるp側キャップ層9を300オングストロームの膜厚で成長させる。このp型キャップ層は $0.1\mu\text{m}$ 以下の膜厚で形成することにより素子の出力が向上する傾向にある。膜厚の下限は特に限定しないが、10オングストローム以上の膜厚で形成することが望ましい。このキャップ層も省略可能である。

【0037】(p側クラッド層10) 次に1回目にアンドープGaN層を25オングストローム成長させ、続いてAl含有ガスをわずかに流してAlを極微量含有したAlGaN層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そして2回目に、同じくアンドープGaNを25オングストローム成長させ、続いてAl含有ガスの量を若干多くしてAlGaNを25オングストローム成長させる。3回目以降は、先に成長させたAlGaNよりもAl含有量が若干多いアンドープAlGaN層を成長させる。このようにして、アンドープGaN層25オングストロームと、Al含有量が若干ではあるが次第に多くなっていくアンドープAlGaN層25オングストロームとを交互に積層し、500オングストローム(10ベア)成長させる。10ベア成長後、続いて、Mg含有ガスをわずかに流して、Mgを極微量ドープしたMgドープGaN層を25オングストローム成長させ、続いて先に成長させたアンドープAlGaN層よりもAl含有量

が多いAlGa_{0.2}N層を250Åの膜厚で成長させる。次に、活性層から離れるに従って、Mgの量が徐々に多くなって行くMgドープGa_{0.8}N層250Åストロームと、同じく活性層から離れるに従ってAlの量が次第に多くなって行くアンドープAl_{0.8}Ga_{0.2}N層250Åストロームとを交互に積層して、最後にMgを $8 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたGa_{0.8}N層を成長させ、その次にアンドープAl_{0.2}Ga_{0.8}N層を成長させ、合計で0.75μm(150ペア)成長させる。このようにして、活性層から離れるに従って、Mg含有量が次第に多くなって行くGa_{0.8}N層と、Al含有量が次第に多くなって行くAlGa_{0.2}N層とからなる超格子構造のp側クラッド層10を0.8μmの膜厚で成長させる。

【0038】このように超格子層よりなるn側クラッド層7を1.3μm、(バンドギャップエネルギーが最大でAl_{0.3}Ga_{0.7}N)、p側クラッド層10を0.8μm(バンドギャップエネルギーが最大でAl_{0.2}Ga_{0.8}N)とを成長させることにより、活性層の発光が導波路領域で閉じ込められやすくなり、閾値の低下したレーザ素子を実現できる。

【0039】(p側コンタクト層11)最後に、p側クラッド層10の上に、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Ga_{0.8}Nよりなるp側コンタクト層11を150Åストロームの膜厚で成長させる。

【0040】以上のようにして窒化物半導体を成長させたウェーハを反応容器内において、窒素雰囲気中700℃でアニーリングを行い、p型不純物をドープした層をさらに低抵抗化させた後、RIE(反応性イオンエッチング装置)により、n側コンタクト層5の表面を露出させる。

【0041】次に、図1に示すようにp側コンタクト層11と、p側クラッド層10とをエッチングして、4μmのストライプ幅を有するリッジ形状とする。さらにリッジの側面にZrO₂よりなる絶縁膜22を形成した後、その絶縁膜を介して、NiとAuよりなるp電極20を形成し、一方、TiとAlよりなるn電極22を先ほど露出させたn側コンタクト層5の表面にストライプ状に形成する。

【0042】以上のようにして、n電極とp電極とを形成したウェーハのサファイア基板を研磨して70μmとした後、ストライプ状の電極に垂直な方向で、基板側からバー状に劈開し、劈開面(11-00面)に共振器を作製する。共振器面にSiO₂とTiO₂よりなる誘電体多層膜を形成し、最後にp電極に平行な方向で、バーを切断してレーザ素子とする。

【0043】このレーザ素子の異種基板1の裏面側をヒートシンクに設置し、それぞれの電極をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みたところ、室温でレーザ発振を示し、我々がJpn. J. Appl. Phys. Vol. 36 (1997)に発表したものと比較して、閾値が50%以上低下

し、20mWの出力において、3000時間以上の連続発振を示し、しかもレーザ光の形状は上下左右対称な楕円形を有し単一モードであった。

【0044】[実施例2](第1の態様)

実施例1において、n側クラッド層7を成長させる際に、Ga_{0.8}N層にドープするSiの量を $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ と一定にし、AlGa_{0.2}N層のみ活性層に接近するに従って、Al混晶比を小さくする他は同様にして超格子層を成長させる。但し、活性層に接近した側にある0.1μmの膜厚のGa_{0.8}N層とAlGa_{0.2}N層とを積層した領域は同様にしてアンドープとする。

【0045】またp側クラッド層10を成長させる際に、Ga_{0.8}NにドープするMgの量を $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ と一定にし、AlGa_{0.2}N層のみ活性層から離れるに従って、Al混晶比を大きくする他は同様にして超格子層を成長させる。但し、活性層に接近した側にある800Åストロームの膜厚のGa_{0.8}N層とAlGa_{0.2}N層とを積層した領域は、同様にしてアンドープとする。

【0046】その他は全て実施例1と同様にしてレーザ素子を作製したところ、このレーザ素子は実施例1に比較して若干閾値は上昇したが、20mWの出力において、2000時間以上の単一モードの連続発振を示した。

【0047】[実施例3](第2の態様)

実施例1において、n側クラッド層7を成長させる際に、AlGa_{0.2}N層のAl混晶比をAl_{0.20}Ga_{0.80}Nと一定にして、Ga_{0.8}NにドープするSiの量を活性層に接近するに従って少なくする他は同様にして超格子層を成長させる。但し、活性層に接近した側にある0.1μmの膜厚のGa_{0.8}N層とAlGa_{0.2}N層とを積層した領域は同様にしてアンドープとする。

【0048】またp側クラッド層10を成長させる際に、AlGa_{0.2}NのAl混晶比をAl_{0.15}Ga_{0.85}Nと一定にして、Ga_{0.8}NにドープするMgの量を活性層から離れるに従って大きくする他は同様にして超格子層を成長させる。但し、活性層に接近した側にある800Åストロームの膜厚のGa_{0.8}N層とAlGa_{0.2}N層とを積層した領域は、同様にしてアンドープとする。

【0049】その他は全て実施例1と同様にしてレーザ素子を作製したところ、このレーザ素子も実施例1に比較して若干閾値は上昇したが、20mWの出力において、1000時間以上の単一モードの連続発振を示した。

【0050】[実施例4] 実施例1においてp側キャップ層9を成長させない他は、実施例1と同様にしてレーザ素子を作製したところ、同一電流値での出力は実施例1のものに比較して、若干低下したが、20mWでの出力において、寿命は2500時間以上を示した。

【0051】[実施例5] 図3は本発明の他の実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式断面図である。図1と

同一符号は同一部材を示しているものとする。以下この図を元に説明する。

【0052】実施例1と同様にして、サファイアよりなる異種基板1の上に、MOVPE法を用いてアンドープGaNよりなる下地層2を4 μ mの膜厚で成長させた後、ストライプ状の保護膜3を形成する。

【0053】(窒化物半導体基板44)保護膜形成後、MOVPE法を用い、SiドープGaNよりなる窒化物半導体層を10 μ mの膜厚で成長させ、保護膜3上部をGaNで覆った後、HVPE装置に移送し、Gaメタル、HClガス、NH₃、シランガスを用いて、Siを $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなる窒化物半導体基板44を500 μ mの膜厚で成長させる。成長後、サファイア基板1、保護膜3、およびアンドープGaN層領域を研磨除去し、窒化物半導体基板44を作製する。

【0054】その後、MOVPE装置を用いて、窒化物半導体基板44(研磨側でない方)の上に、クラック防止層6から上の層を積層させる。成長後、研磨面の窒化物半導体基板にSiを高濃度にドープしたSi高濃度領域を形成し、n電極形成層44'とする。

【0055】その後図3に示すようにリッジを形成し、n電極21を電極形成層44のほぼ全面に形成する以外は、実施例1と同様にしてレーザ素子を作製する。図3に示すレーザ素子はSiをドープしたGaNを基板としているため、基板側から電極を取ることが可能となる。このレーザ素子も実施例1のレーザ素子とほぼ同等の特性を有する素子が得られた。

【0056】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の素子では活性層に接近するに従って、Al組成が少なくなるか、および/または不純物濃度が少なくなるクラッド層を有していることにより、ほとんどの光が導波路内に閉じ込

められ、レーザ光が単一モードとなり、閾値が低下する。そのためレーザ素子が高出力において、長寿命にできるようになったので、本発明を用いることにより、レーザを書き込み用光源として実用化させるのに非常に重要である。また本明細書では、最も過酷な条件で使用されるレーザ素子について説明したが、本発明はレーザ素子だけでなく、LED、受光素子のように窒化物半導体を用いた他のあらゆる電子デバイスに適用可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式断面図。

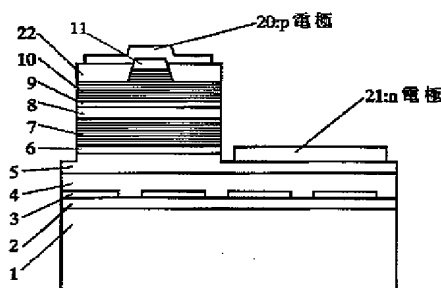
【図2】 図1のn型クラッド層7からp側クラッド層10までのエネルギーバンドを示す図

【図3】 本発明の他の実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式断面図。

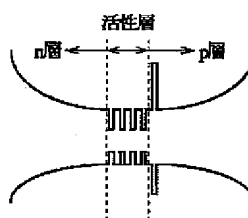
【符号の説明】

- 1・・・異種基板
- 2・・・下地層
- 3・・・保護膜
- 4、44・・・窒化物半導体基板
- 5・・・n側コンタクト層
- 6・・・クラック防止層
- 7・・・n側クラッド層
- 8・・・活性層
- 9・・・p側キャップ層
- 10・・・p側クラッド層
- 11・・・p側コンタクト層
- 20・・・p電極
- 21・・・n電極
- 22・・・絶縁膜
- 44'・・・n電極形成層

【図1】



【図2】



【図3】

